



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Análisis de señales en  
pruebas de impacto para  
vehículos de la familia FCA**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniera Mecatrónica**

**P R E S E N T A**

Tania Viviana Reyes Alcaraz

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Álvaro Ayala Ruiz



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**

# Contenido

Introducción .....	3
Objetivo .....	3
Capítulo 1. Datos sobre la compañía.....	4
1.1 Descripción de la empresa .....	4
1.2 Organigrama .....	4
1.3 Descripción del organigrama.....	5
1.4 Descripción del puesto de trabajo.....	6
Capítulo 2. Bases de la seguridad vehicular .....	7
2.1 Seguridad en los vehículos: Historia.....	7
2.2 Normas y Regulaciones, ¿Quiénes y por qué se crearon? .....	9
NHTSA.....	9
IIHS (Insurance Institute Highway Safety) .....	10
EuroNCAP (European New Car Assessment Programme) .....	10
2.3 Principios físicos utilizados hoy en día en <i>Motion Analysis</i> .....	11
2.4 Tipos de Pruebas .....	12
<i>Whiplash Tests: Prueba de latiguo</i> .....	12
<i>Flat Frontal: Impacto frontal completo</i> .....	13
<i>Impacto Frontal con Desviación Lateral del 40%</i> .....	13
<i>Small Overlap: Impacto frontal con Desviación Lateral del 25%</i> .....	14
Capítulo 3. Caso de estudio: <i>Motion Analysis</i> .....	15
3.1 Análisis de las pruebas.....	15
3.2 Caso de estudio .....	15
3.3 Desarrollo: .....	17
3.4 Análisis general.....	20
<i>Pitch</i> (Cabeceo) del Vehículo .....	21
Desplazamiento total del Pilar B.....	23
Desplazamiento XYZ del motor .....	25
Desplazamiento de la cabeza de los ATD en el eje longitudinal (X) .....	26
3.5 Simulador de impacto para ATD (maniqués).....	28
Conclusiones.....	31
Bibliografía.....	33

## Introducción

En este informe reporto las actividades que desarrollé a lo largo de 6 meses dentro del área de Análisis Virtual de una compañía automotriz. Demostrando con ello las habilidades en ingeniería que tengo para poder obtener el título de Ingeniera Mecatrónica, tales como el trabajo en equipo, capacidad de solucionar problemas y la constante búsqueda de optimizar los procesos.

Las actividades corresponden a diversos proyectos que se desarrollaron en la sub área *Motion Analysis*, la cual se encarga de analizar las pruebas de impacto de los vehículos para obtener deformaciones, desplazamientos, ángulos y velocidades que posteriormente se adaptan a los protocolos establecidos por *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)*, *European New Car Assessment Programme (EuroNCAP)*, *Insurance Institute Highway Safety (IIHS)*, de esa manera se garantiza un diseño seguro que logre reducir las pérdidas (muertes, lesiones o daños a las vías públicas).

## Objetivo

Mostrar mis capacidades como ingeniera durante el desarrollo de mis actividades en el área de análisis de elementos vehiculares en pruebas de impacto para Ingeniería del Producto.

# Capítulo 1. Datos sobre la compañía

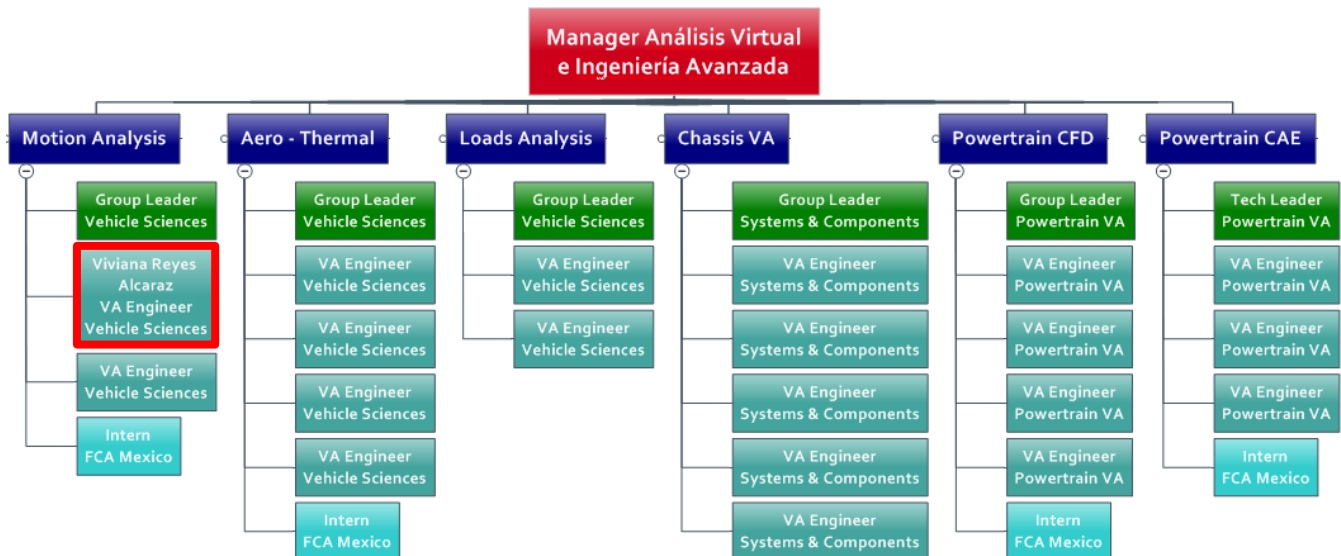
## 1.1 Descripción de la empresa

“Fiat Chrysler Automobiles (FCA) México inició operaciones en 1938, actualmente su edificio corporativo y su Centro de Ingeniería Automotriz se ubican en Santa Fe, al poniente de la Ciudad de México. Se ha mantenido a lo largo por 76 años en el país.

Está comprometida con el diseño, la ingeniería, la manufactura y la venta de vehículos bajo las marcas Chrysler, Jeep, Dodge, RAM y actualmente FIAT además de los vehículos con designación SRT. La Compañía también distribuye el modelo Alfa Romeo 4C y productos Mopar. FCA U.S. está construida sobre las bases históricas de Chrysler, el innovador fabricante de automóviles estadounidense establecido por Walter P. Chrysler en 1925; y FIAT fundada en Italia en 1899 por empresarios pioneros, incluyendo a Giovanni Agnelli.

FCA es el séptimo mayor fabricante de automóviles en el mundo basado en las ventas anuales de vehículos y es un grupo automotriz internacional.” [1]

## 1.2 Organigrama



### 1.3 Descripción del organigrama

De la dirección general de ingeniería de la familia FCA dependen diversas áreas; entre ellas se encuentra *Virtual Analysis*, la cual es un área dedicada a la validación y pruebas virtuales de vehículos y sistemas automotrices. Múltiples técnicas son utilizadas para proporcionar información precisa y significativa antes, durante y después del proceso de diseño de un vehículo. Dicha área está bajo la dirección de un manager que se comunica directamente con las demás áreas de ingeniería, además de encargarse de guiar y verificar todos los procesos que se desarrollan en cada una de las siguientes sub-áreas que constituyen a *Virtual Analysis*:

#### Aerothermal

Dedicados al análisis de los flujos involucrados en el intercambio de calor al rededor del vehículo. Se basa en simulaciones computarizadas de fluidos para obtener cambios de presión, variaciones de temperatura y direcciones de flujos.

Gracias a esto, se pueden tomar decisiones sobre selección de intercambiadores de calor, su configuración y su orientación para mejorar la eficiencia del tren motriz.

#### Chasis Virtual Analysis

Las principales actividades consisten en el análisis y desarrollo de sistemas de suspensiones, mediante el uso de *software Multibody Dynamics*, basando sus datos en pruebas físicas cuasi-estáticas y dinámicas; así como en información teórica.

Los resultados de estos análisis, facilitan a la compañía el determinar cuál será el diseño óptimo de una suspensión determinada, así como encontrar y solucionar posibles problemas que se pudieran presentar durante el desplazamiento de un vehículo.

#### Loads Analysis

Con datos extraídos de pruebas físicas, se generan entradas para modelos cuasi-estáticos de componentes en específico con el objetivo de proveer

información a los diseñadores. Gracias a esto se puede definir cargas de servicio, cargas máximas y sus tolerancias.

### Powertrain CAE/CFD

Mediante el método de elemento finito y dinámica de fluidos, se obtiene una aproximación de los esfuerzos, durabilidad y eficiencia del motor. Basados en esto, el tren motriz se adapta y optimiza para las diferentes configuraciones vehiculares.

### Motion Analysis

Esta última es el área en donde desarrollo mis actividades profesionales. En ella se realizan pruebas destructivas en los vehículos para analizar el movimiento de cada uno de sus componentes. Estas pruebas están reguladas por instituciones internacionales y exigen que se cumplan con todos los parámetros ya establecidos (velocidad, punto de impacto, etc.) con el propósito de brindar automóviles confiables en caso de un accidente y la seguridad del(los) ocupante(s).

También se realizan pruebas no destructivas, en donde el propósito principal es encontrar la causa raíz de problemas de diseño en los vehículos y con ello poder crear un rediseño.

## **1.4 Descripción del puesto de trabajo**

Mi labor consiste en realizar las siguientes actividades:

- Analizar el movimiento de elementos vehiculares en pruebas de impacto.
- Seguir estándares americanos y europeos e implementarlos para las pruebas.
- Dar soporte e información a los solicitantes de pruebas en la corporación.
- Revisar los requerimientos de análisis para los ingenieros de FCA US/Italia.
- Generar y publicar reportes de pruebas.

Para realizar mi trabajo, aplico los conocimientos adquiridos en áreas como: estática y dinámica, óptica en 2 y 3 dimensiones, lógica de programación y conocimientos básicos en sistemas automotrices.

Las competencias que estoy aplicando son el trabajo en equipo, ser proactivo, la capacidad de aprendizaje, la solución de problemas junto con la planeación y organización de actividades, además de una buena comunicación, toma de decisiones y liderazgo.

## **Capítulo 2. Bases de la seguridad vehicular**

### **2.1 Seguridad en los vehículos: Historia**

Desde que surgió en el siglo XIX, la industria automotriz ha evolucionado enormemente debido a las necesidades cambiantes a lo largo del tiempo. Un vehículo actual debe cumplir una serie de características para poder posicionarse entre los más vendidos. Entre las características más buscadas se encuentran potencia, apariencia, peso y bajo consumo de combustible. Pero además un automóvil debe cumplir con las regulaciones que internacionalmente se han impuesto en cuestión de seguridad con el objetivo de disminuir el número de muertes por accidentes automovilísticos.

Existen dos maneras de hacer un vehículo más seguro, el primer camino es agregar elementos que eviten accidentes automovilísticos y el segundo es agregar elementos que, en caso de que el accidente ocurra, reduzcan los efectos en el conductor, ocupantes y transeúntes. Lo anterior está relacionado con la seguridad activa y pasiva. Ambos conceptos se explican en la Figura 1, donde además se mencionan algunos de los elementos relacionados a estos diferentes tipos de seguridad.

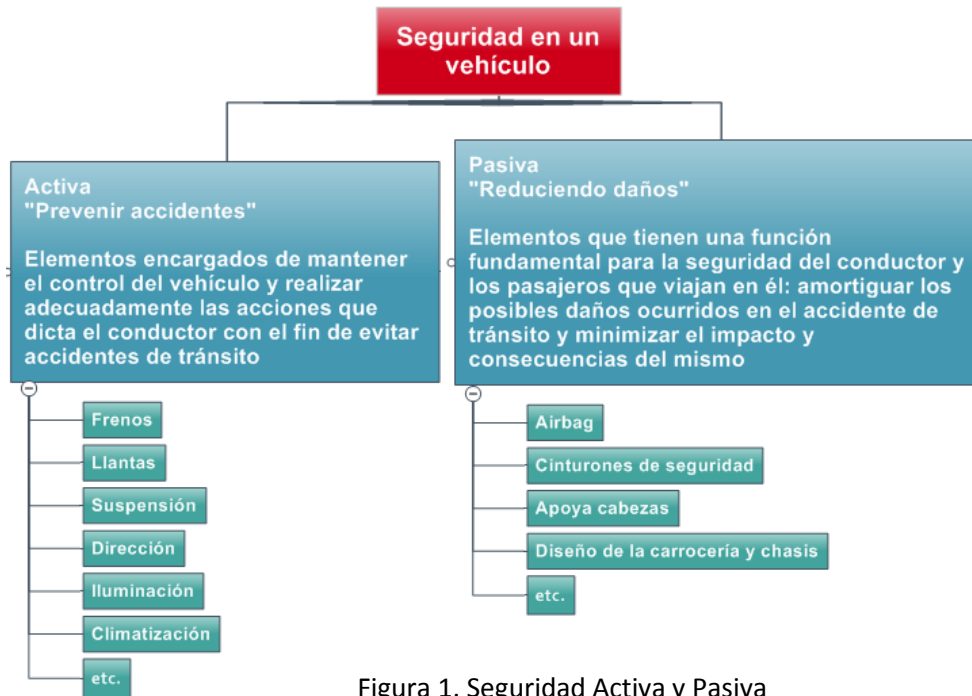


Figura 1. Seguridad Activa y Pasiva

Es por eso que en FCA existe el área de *Motion Analysis*, en donde se analizan pruebas destructivas en los vehículos para comprobar si los elementos pasivos y activos cumplen su propósito. Las pruebas siguen protocolos de la NHTSA, el IIHS y Euro NCAP, quienes exigen se cumplan con todos y cada uno de los parámetros establecidos, tales como:

- Velocidad
- Punto de impacto en el vehículo
- Desplazamientos en cabeza y extremidades de los ATD (*Anthropomorphic Test Device*).

Esto con el objetivo de simular las condiciones promedio de los choques vehiculares reales.

La mayoría de nuestros resultados pueden ser utilizados para realizar simulaciones virtuales, logrando así disminuir costos en las pruebas físicas además de asegurar la integridad de los ocupantes.



## 2.2 Normas y Regulaciones, ¿Quiénes y por qué se crearon?

### NHTSA

La seguridad automotriz ha ido progresando a lo largo de la historia. En los años 40, las regulaciones únicamente se limitaban a la legislación del diseño del vehículo. Para los años 50, Estados Unidos se negó a participar en el Foro de Armonización de la Regulación de Vehículos, donde se abrió paso para mejorar el diseño, la construcción, la seguridad y el funcionamiento de los vehículos.



Figura 2. Logo NHTSA

La presión pública en EE.UU se hizo presente en 1960, pues la población pedía que se aumentara la seguridad vehicular. Así, en 1965, el congreso comenzó a celebrar audiencias de alto perfil sobre la seguridad del automóvil y un año después el presidente Lyndon Johnson firmó dos proyectos que ordenaban las nuevas características de seguridad en todos los vehículos de EE.UU. Con estos proyectos en marcha, fueron creadas dos agencias: Agencia Nacional de Seguridad en Carretera y la Agencia Nacional de Seguridad Vehicular. En 1970 se fusionaron para crear NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration).

En 1972 la Ley de Información de vehículos Motorizados y Ahorro de Costos amplió el alcance de la agencia para incluir programas de información al consumidor.

Durante los años siguientes, la NHTSA comenzó a trabajar en las regulaciones para reducir accidentes enfatizando en la seguridad activa y pasiva de todos los vehículos.

En 1987, comenzó el programa de evaluación de vehículos nuevos, basados en pruebas de impacto. Desde ese entonces y hasta ahora, las evaluaciones han ido evolucionando de acuerdo a las necesidades de la carretera, de los usuarios y peatones.

### **IIHS (Insurance Institute Highway Safety)**

IIHS fue fundada en 1959 por tres grandes asociaciones de seguros que representan el 80 por ciento del mercado estadounidense de seguros de automóviles. Al principio, el propósito del Instituto era apoyar los esfuerzos de seguridad vial de otros. Una década más tarde, el IIHS fue reinventado como una organización de investigación independiente.



Figura 3. Logo IIHS

Para entonces, ya estaba liderando la transformación de la seguridad vial, que iba de la prevención de choques hacia un enfoque moderno y científico para identificar una gama completa de opciones para reducir las pérdidas por accidentes

Este enfoque científico ha sido notablemente exitoso; el número de personas muertas en las carreteras de los Estados Unidos, aunque todavía es demasiado alto, ha disminuido desde 1979, a pesar de que la población y el número de millas recorridas han aumentado. Gran parte de esta mejora tiene como resultado el desarrollo de vehículos más seguros. [3]

### **EuroNCAP (European New Car Assessment Programme)**

En la década de los 70, diversos gobiernos europeos trabajaron en la evaluación de los diferentes aspectos de seguridad en los vehículos a través del Comité Europeo de Vehículos Experimentales (EEVC).



Figura 4. Logo EuroNCAP

A principios de los 90, esta investigación dio como resultado el desarrollo de procedimientos de ensayo de impacto a escala completa a fin de proteger a los ocupantes de los vehículos en caso de impacto lateral y frontal, además de una prueba de componentes para evaluar la protección de los peatones que son golpeados por la parte delantera de los vehículos.

En 1994, el sector automovilístico puso muchas objeciones ante la idea de incorporar las propuestas de ensayo del EEVC a la legislación europea. En junio de 1994, el Departamento de transporte del Reino Unido consideró

crear NCAP dentro de su territorio, pero con vistas a su posterior expansión por toda Europa. El programa sería más exhaustivo y se basaría en los procedimientos de ensayo desarrollados por el EEVC.

En noviembre de 1996, la Administración Nacional Sueca de Carreteras (SNRA), la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) y la Organización Internacional de Ensayos fueron las primeras entidades en unirse al programa de ensayos de seguridad de vehículos. El resultado fue la formación de EuroNCAP. [2]

### **2.3 Principios físicos utilizados hoy en día en *Motion Analysis***

A continuación se mencionan los conceptos básicos necesarios para analizar una prueba de impacto en *Motion Analysis*:

#### Estereoscopía

“Es un proceso inherente a los seres humanos, consiste en obtener una vista tridimensional de objetos percibidos mediante visión binocular. El cerebro humano interpreta la realidad a partir de las imágenes que le proporcionan los dos ojos, las cuales presentan diferencias entre sí, ocasionadas por su separación.” [4]

#### Fotogrametría

“Es una disciplina basada en la reconstrucción 2D y 3D de la realidad a partir de imágenes bidimensionales. Realiza mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, de esa manera se obtienen características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado.” [5]

#### Paralaje

“La paralaje estereoscópico es la desviación angular aparente de un objeto inmóvil, que se produce en dos fotografías cuando se realiza la toma desde dos puntos de vista distintos.”[6]

Si consideramos que los videos son fotografías presentadas secuencialmente, entonces podemos aplicar los principios anteriores a los videos de interés en *Motion Analysis*.

Los desplazamientos y ángulos generados al momento del impacto son los que se ilustran en la Figura 5. En donde el origen del sistema coordinado es el centro de gravedad del vehículo.

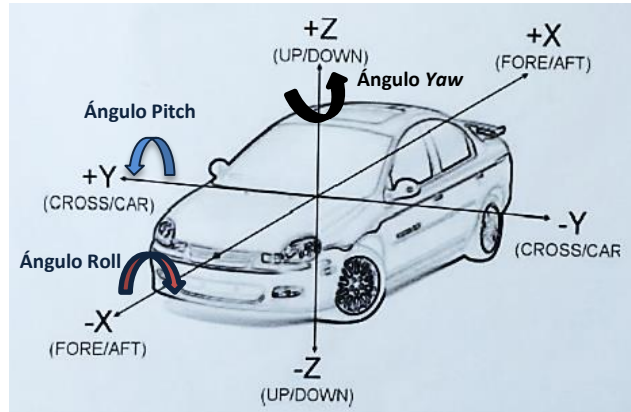


Figura 5. Sistema Coordinado en los Vehículos

## 2.4 Tipos de Pruebas

En esta sección menciono las pruebas básicas que analizamos dentro de *Motion Analysis*, las cuales siguen diferentes estándares de EuroNCAP & IIHS.

### **Whiplash Tests: Prueba de latiguo**

Los asientos y los sistemas de sujeción de la cabeza se prueban en un trineo con un ATD (*Anthropomorphic Test Device*), comúnmente conocido como maniquí; simulando un impacto trasero a baja velocidad (Figura 6). Se realizan tres pruebas dinámicas, que representan intensidades de accidentes comunes que causan lesiones, junto con una evaluación de la geometría de los elementos de sujeción delanteros y traseros de la cabeza.

La geometría se evalúa para comprobar si el sistema de sujeción de la cabeza puede instalarse o no a fin de evitar un movimiento excesivo de la cabeza y ofrecer un apoyo eficaz en situaciones de colisión típicas. [7]

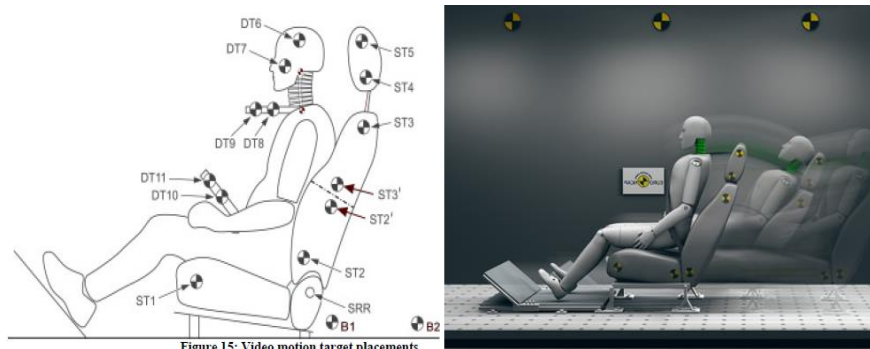


Figure 15: Video motion target placements

Figura 6. Prueba Whiplash

### **Flat Frontal: Impacto frontal completo**

EuroNCAP prueba los vehículos contra una barrera rígida, donde el ancho total del vehículo se impacta a una velocidad de 50 km/h. Se coloca un maniquí pequeño de mujer en el asiento del conductor y otro en el asiento lateral trasero de los acompañantes.

Esta prueba exige la máxima respuesta a los sistemas de sujeción de los asientos delanteros y traseros.

Esta prueba de impacto frontal completo complementa a la prueba de desviación lateral del 40%, ya que hay que encontrar un equilibrio entre un sistema de retención que sea lo suficientemente rígido como para sujetar a un maniquí masculino en la prueba de 64 km/h y uno que sea lo suficientemente suave como para no elevar excesivamente las fuerzas de desaceleración sobre una mujer pequeña de aproximadamente 57 Kg (5° percentil femenino). [8]



Figura 7. Prueba *Flat Frontal*

### **Moderate Overlap: Impacto Frontal con Desviación Lateral del 40%**

El objetivo de esta prueba es medir la desviación lateral del vehículo con respecto a la barrera de impacto, para validar que el impacto se realizó exactamente en el 40% del ancho del vehículo. Siguiendo la norma de la IIHS para *Moderate Overlap Frontal Test*, se tiene una tolerancia de desviación de <math><20\text{mm}</math>. Este tipo de prueba es conducida a una velocidad de

El vehículo se alinea a la barrera de tal manera que el borde derecho de la barrera es impactado contra la parte izquierda del vehículo. Al momento del impacto, el borde de la barrera debe coincidir con la línea que marca el 10% antes de la línea central del vehículo (Figura 8). El ancho del vehículo se considera según la SAE J1100, que menciona: "Es la dimensión máxima medida entre la parte más ancha del vehículo, excluidos los retrovisores exteriores, las aletas flexibles y las luces de marcación, pero incluidos los parachoques, las molduras, las protuberancias de chapa metálica o las ruedas dobles, si se trata de un equipo estándar". [9]

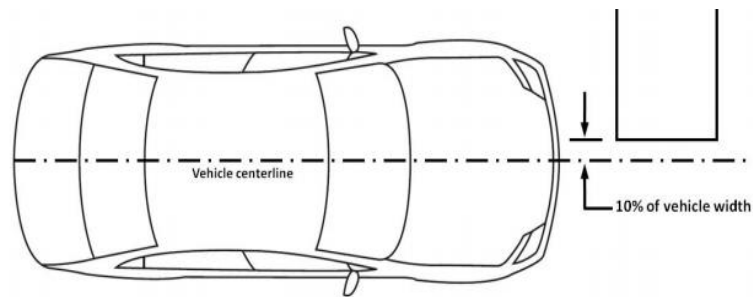


Figura 8. Prueba de Desviación Lateral

### **Small Overlap: Impacto frontal con Desviación Lateral del 25%**

Las pruebas se realizan a una velocidad de  $64.4 \pm 1$  km/h ( $40 \pm 0.6$  mi/h) y golpeando el 25% del ancho del vehículo contra la barrera.

El vehículo de prueba está alineado con la barrera rígida de tal manera que el borde derecho de la barrera es impactado contra la línea a la izquierda del vehículo en  $25 \pm 1\%$  del ancho del vehículo (Figura 9). El ancho del vehículo se define y se mide como se indica en la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) J1100. [10]

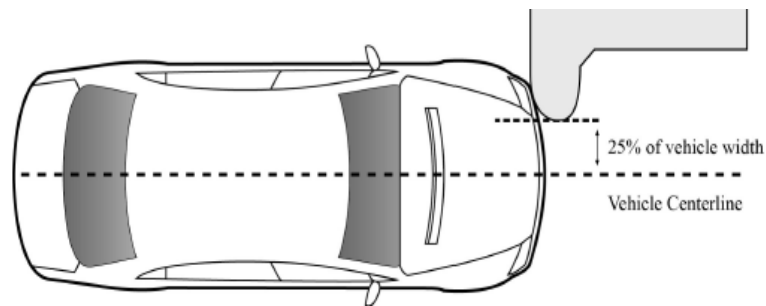


Figura 9. Prueba *Small Overlap*

## Capítulo 3. Caso de estudio: *Motion Analysis*

### 3.1 Análisis de las pruebas

El análisis de las pruebas se realiza a partir de los videos que graban la secuencia del impacto del vehículo.

Cada proyección del vehículo corresponde a diferentes tipos de pruebas:

- Vista lateral izquierda: LSA (*Left Side Analysis*)
- Vista lateral derecha: RSA (*Right Side Analysis*)
- Vista inferior: UBA (*Underbody Analysis*)
- Vista superior: Puede ser analizada la desviación lateral del vehículo en pruebas *Small Overlap* de 25% y 40% o también, realizar un análisis del motor, conocido como ECA (*Engine Compartment Analysis*)

Para LSA, RSA y UBA, se realizan análisis en 3D que se basan en los principios de estereoscopía y fotogrametría.

La desviación lateral de los vehículos y el ECA, se analizan en 2D agregando la profundidad de la cámara para conseguir mayor exactitud en las mediciones.

Las pruebas cumplen la metodología que dictan las normas internacionales, éstas son las mismas para todas las empresas automotrices, sin embargo la información detallada del procesamiento es de carácter confidencial.

### 3.2 Caso de estudio

De las pruebas mencionadas en el capítulo anterior, usaré como ejemplo la prueba de *Flat Frontal* para dar a conocer a grandes rasgos cómo se lleva a cabo el proceso en el equipo de *Motion Analysis*.

Este análisis de "Impacto Frontal" contemplará LSA, RSA y UBA. Es una prueba muy común que se realiza en todas las plataformas vehiculares. Fue diseñada para resaltar la calidad del diseño estructural así como también el sistema de sujeción.

Para poder iniciar un análisis, es necesario seguir una metodología, ésta se resume en la Figura 10 mostrada a continuación:

- 1) Establezco comunicación con el departamento *de Safety* de FCA US para conocer el calendario de pruebas
- 2) Selecciono el tipo y la cantidad de cámaras necesarias así como los *targets* que se incluirán en diferentes zonas del vehículo
- 3) El equipo de FCA US posiciona las cámaras, corre las pruebas y graba los videos. Estos videos e imágenes me los comparten por medio de la plataforma interna
- 4) Calibro lentes y calculo (mediante software) la posición de las cámaras utilizadas
- 5) Realizo el seguimiento y análisis de los *targets* para poder programar y hacer cálculos necesarios en 2D y 3D
- 6) Defino los ángulos, desplazamientos, velocidades, posiciones y distancias que el solicitante requiere
- 7) Genero un reporte de resultados que incluye gráficos; además estos resultados los transformo en un formato legible para cualquier software de post-procesamiento

Figura 10. Metodología utilizada en *Motion Analysis*.



### 3.3 Desarrollo:

El paso 2 de la metodología menciona la adición de *targets* en el vehículo, éstos se ubican de diferente manera en cada análisis. Los *targets* que comúnmente se agregan en las vistas laterales se ilustran en la Figura 11, los cuales son:

- Pilar A Bajo
- Pilar A Alto
- Pilar B
- Pilar C
- Estribo Frontal
- Estribo Medio
- Estribo Trasero
- Centro de Llanta



Figura 11. Arreglo de *Targets* en Lado Izquierdo y Lado Derecho

Para la vista inferior, los *targets* que se agregan se muestran en la Figura 12. Los componentes que comúnmente se analizan son:

- Motor
- Transmisión
- Brazos de control
- Elementos fijos



Figura 12. Arreglo de *Targets* en Vista Inferior

El siguiente paso de acuerdo a la metodología, es realizar la calibración de cámaras con ayuda de los videos e imágenes de la prueba. Este proceso consiste en determinar los parámetros internos de las cámaras, tales como factores de distorsión, distancia focal, puntos principales, etc. a partir de una serie de fotogramas como los de la Figura 13, que son fotografías tomadas a un mismo plano en diferentes posiciones.

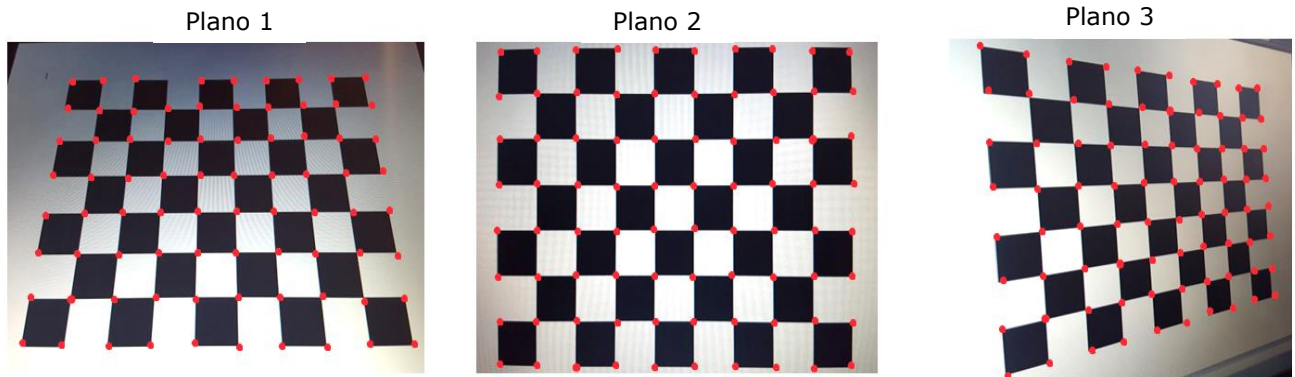


Figura 13. Fotogramas Útiles para la Calibración de Lentes

Conociendo las coordenadas de los puntos marcados en rojo de la Figura 13, puedo corregir la curvatura de la imagen y defectos físicos de cada lente evitando que esta distorsión inherente a las cámaras tenga un impacto negativo en la calidad de los resultados. La Figura 14 explica gráficamente lo anterior.

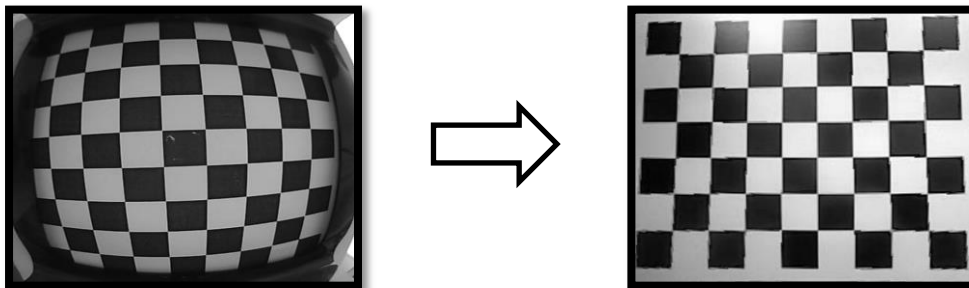


Figura 14. Comparación del Panel de Calibración Antes y Después de la Corrección

Después de calibrar los lentes, es posible relacionar las cámaras utilizadas para el análisis; esta relación se lleva a cabo mediante estereoscopia.

La Figura 15 ilustra el proceso de estereoscopia, donde el propósito es construir un espacio en tres dimensiones a partir de imágenes en dos

dimensiones. Con esto podré conocer el tamaño, las distancias y la posición espacial de los objetos.

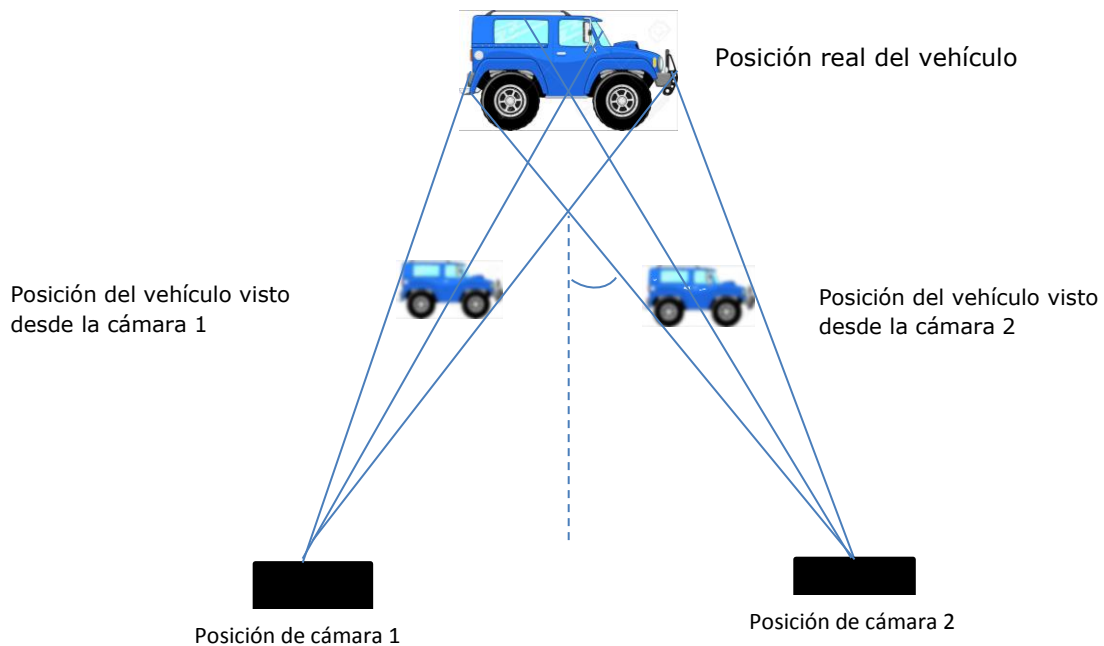


Figura 15 Ubicación Virtual Mediante Estereoscopia

Aplicando el concepto anterior, puedo generar los análisis en 3D con un mínimo de dos cámaras posicionadas en diferentes puntos del laboratorio de pruebas como lo muestran las Figuras 16 y 17.



Figura 16. Cámara 1 para LSA Vista Baja

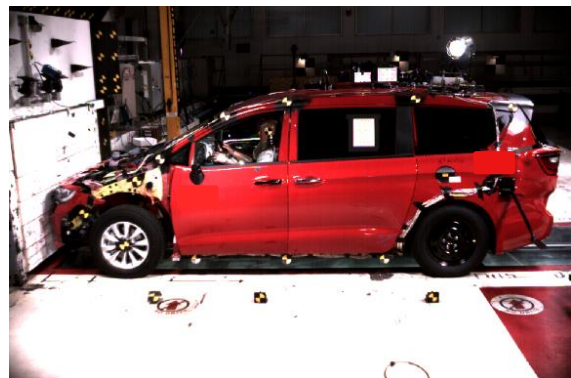


Figura 17. Cámara 2 para LSA Vista Alta

En *TrackEye* (software especializado) se verifica que la paralaje no sea tan alta. Eso quiere decir que las dos cámaras están realmente sincronizadas después de haber corregido lentes y localizar virtualmente la misma posición de la imagen.

Al contar con todo lo anterior, puedo iniciar el seguimiento de los *targets* para obtener las señales deseadas.

### 3.4 Análisis general

Cuando realizo el seguimiento de los *targets* de interés en *TrackEye*, se generan variables de cada uno de ellos. Dichas variables son las que utilizo para obtener las trayectorias y con ello, las velocidades, ángulos y aceleraciones. Es decir, la cinemática del automóvil.

De manera general, las trayectorias que calculo dando seguimiento a los elementos en el vehículo se muestran en la Figura 18.

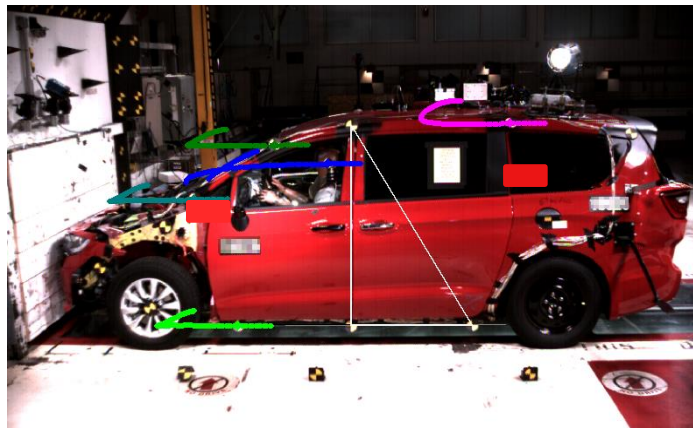


Figura 18. Trayectorias de Cada Target y Triangulación

En cada análisis genero un reporte con los gráficos que representan los cambios de posición de los *targets*. El reporte es esencial para los ingenieros de *Safety* que solicitan las pruebas, ya que utilizan estos datos para realizar un modelado de una prueba de impacto de manera precisa. Los resultados finales los entrego en señales con un formato legible en cualquier *software* de post- procesamiento.

Algunos de los análisis que he hecho en 3D y 2D se resumen en el siguiente mapa.

- 3D {
  - Ángulo *Pitch*
  - Desplazamiento total del poste B
  - Desplazamiento del motor en XYZ
  
- 2D {
  - Desplazamiento de la cabeza en el eje longitudinal X
  - Ángulo del respaldo
  - Velocidad SLED

A continuación presento éstos ejemplos y su correlación del lado derecho con el izquierdo.

### **Pitch (Cabeceo) del Vehículo**

Este ángulo visualmente mostrado en las Figuras 19 y 21, se genera con respecto al eje Y. En pruebas *Flat Frontal*, la diferencia de ángulo entre el análisis izquierdo y derecho no debe ser significativa, es decir, la diferencia ronda  $\pm 1^\circ$ . A continuación describo el análisis.

#### **Análisis lado izquierdo:**

La Figura 20 describe el comportamiento del ángulo *Pitch* del vehículo. El ángulo comienza a cambiar a partir del tiempo 0 [ms], que es justo el momento de contacto entre el vehículo y la barrera. El pico máximo de  $2.317^\circ$  se da a los 151.74 [ms]. En ese momento, el vehículo termina de ceder la energía cinética a la barrera, lo que provoca el descenso angular.



Figura 19. Análisis Izquierdo. Máximo Ángulo *Pitch* Indicado en Amarillo

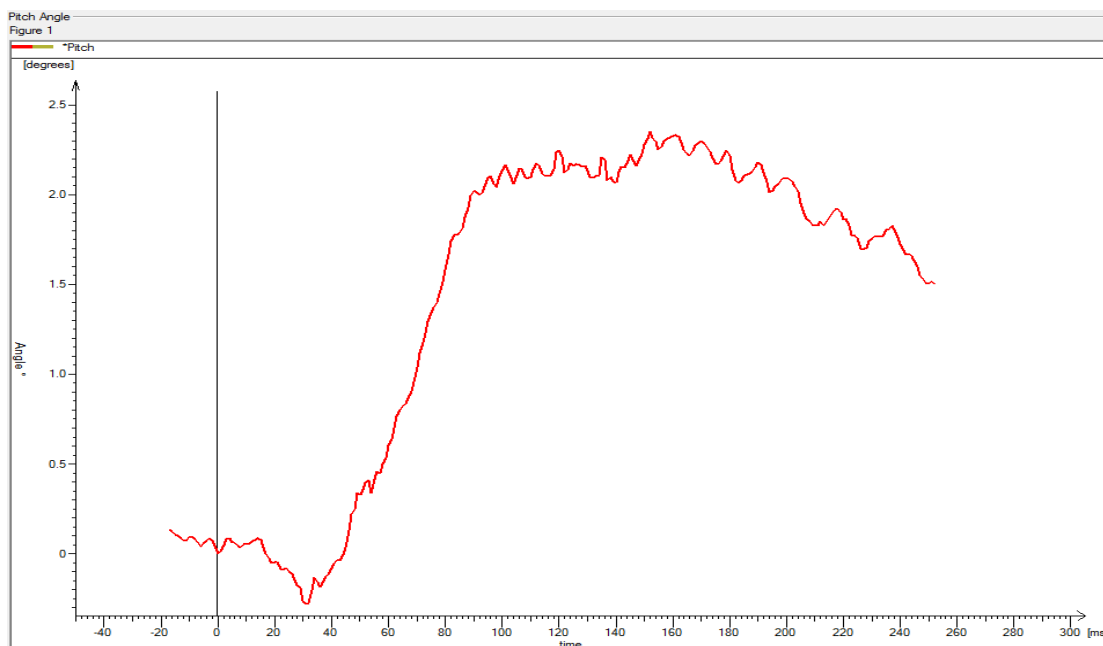


Figura 20. Ángulo Absoluto *Pitch* [ $^\circ$ ] vs. Tiempo [ms] en Lado Izquierdo

### Análisis lado derecho:

En este análisis, el *Pitch* cambia (al igual que el análisis izquierdo) a partir del momento 0 [ms]. La posición angular máxima es igual 2.416 [°] y se presenta a los 131.94 [ms]. El comportamiento está descrito en la Figura 22, donde se aprecia que después de los 140 [ms], el ángulo se reduce.



Figura 21. Análisis Derecho. Máximo Ángulo *Pitch* Indicado en Amarillo

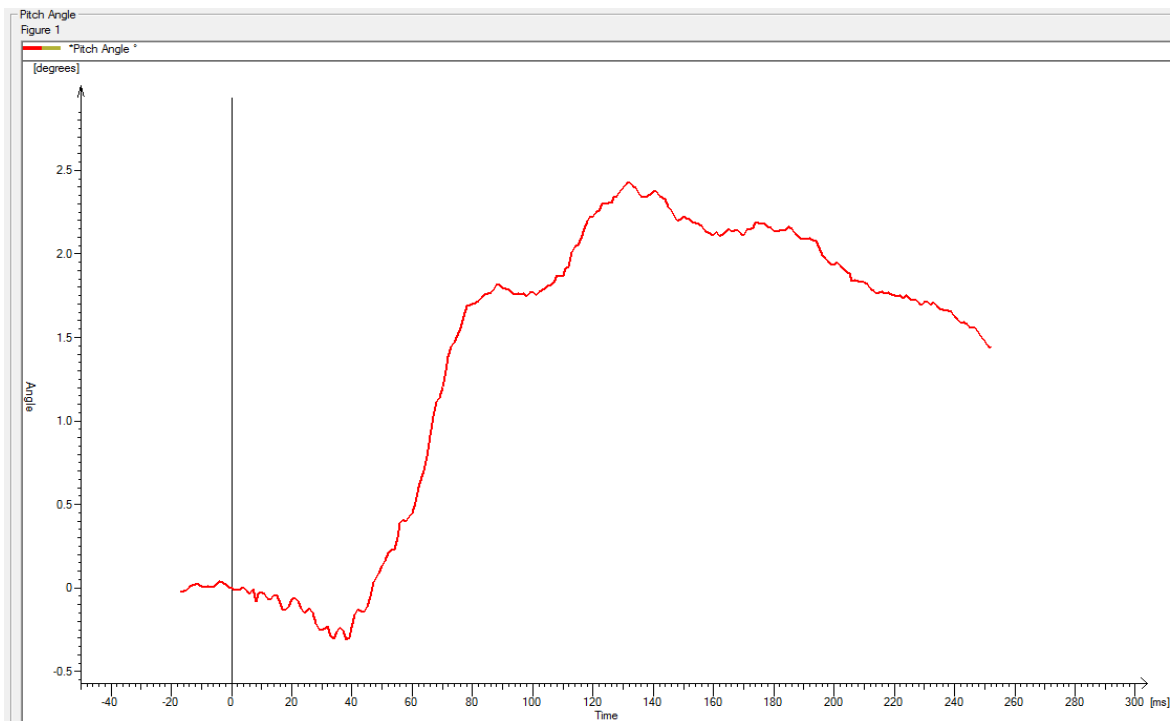


Figura 22. Ángulo Absoluto *Pitch* [°] vs. Tiempo [ms] en Lado Derecho

### Correlación entre ángulo *pitch* izquierdo y *pitch* derecho:

En ambos casos, el ángulo de *Pitch* vehicular máximo ronda 2[°] con una diferencia de 0.099[°] entre ambos. Además el tiempo en el que sucede este máximo se encuentra dentro del rango aceptado. En este tipo de pruebas el lado izquierdo tiene casi el mismo comportamiento que el lado derecho.

## Desplazamiento total del Pilar B

Para el pilar B se requiere un análisis en tres dimensiones, pues este es un componente estructural. El desplazamiento total izquierdo y derecho se describen a continuación.

### Análisis lado izquierdo:

Según la Figura 23, el desplazamiento resultante máximo en el pilar B izquierdo es igual a 13.411[mm] en el tiempo 38 [ms].

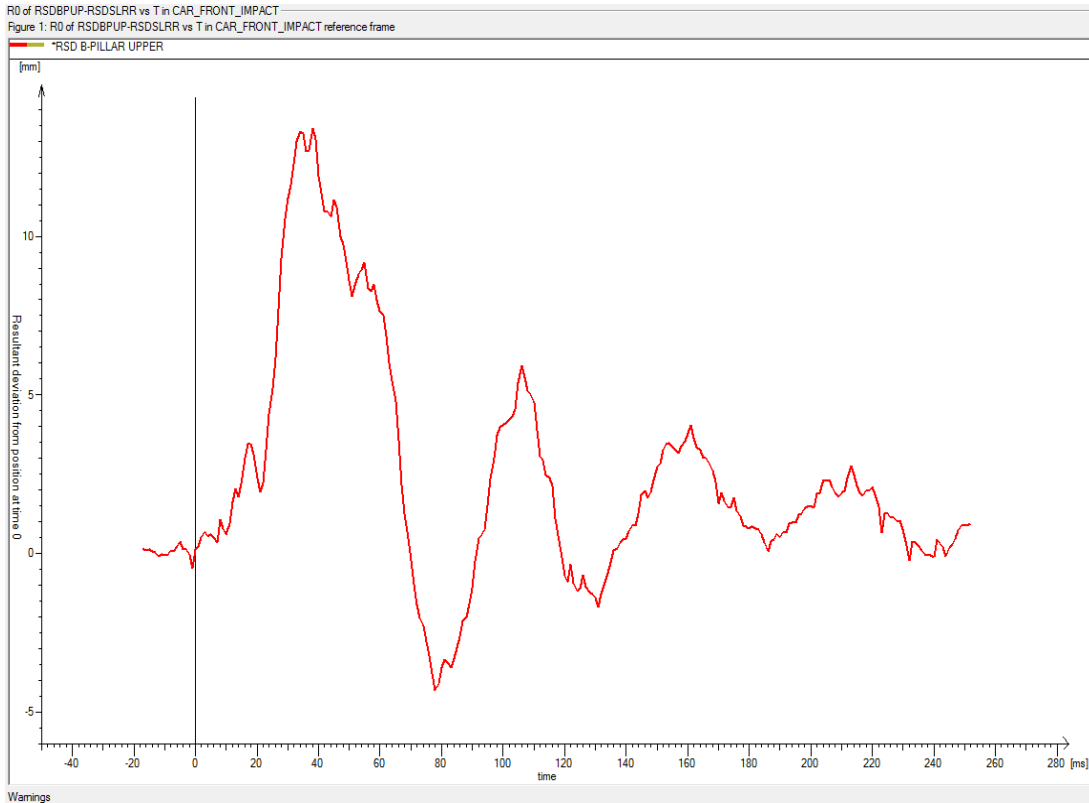


Figura 23. Desplazamiento Absoluto del Pilar B [mm] vs. Tiempo en Lado Izquierdo [ms]

### Análisis lado derecho:

El desplazamiento resultante máximo en el pilar B derecho se visualiza en la Figura 24 y es igual a 12.252 [mm] en el tiempo 40 [ms].

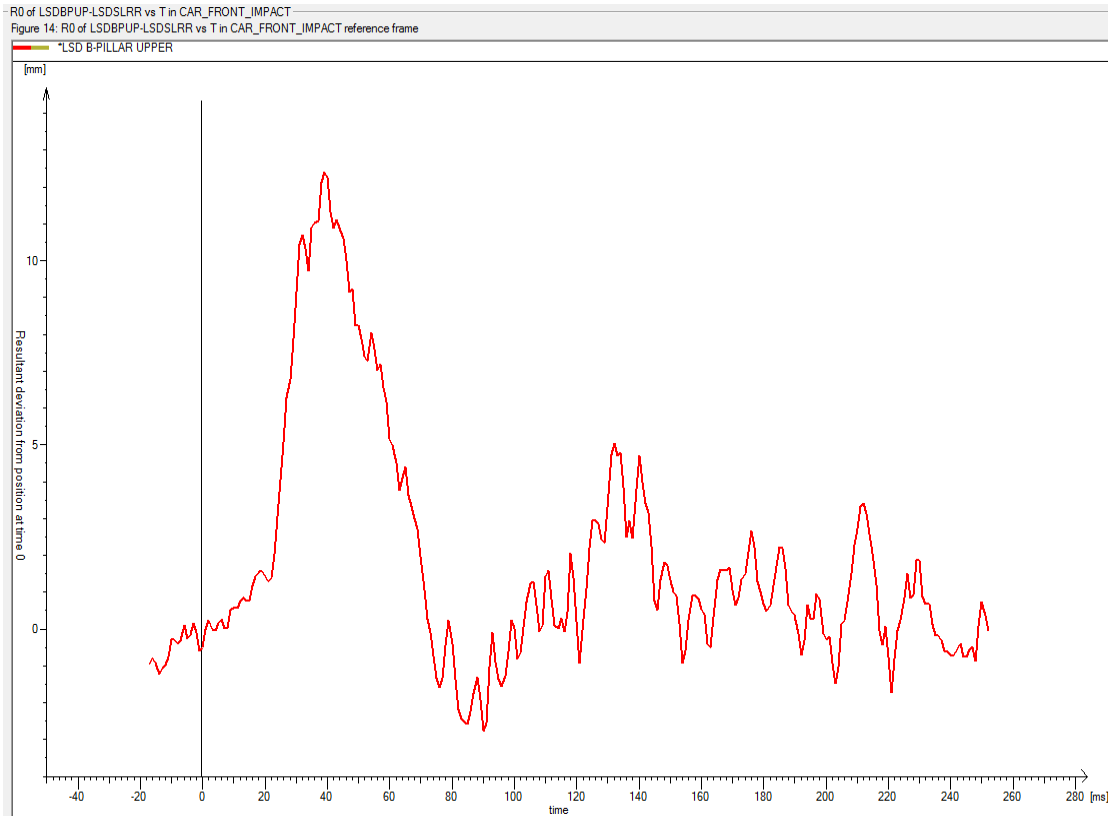


Figura 24. Desplazamiento Absoluto del Pilar B [mm] vs. Tiempo en Lado Derecho [ms]

### Correlación entre pilar B izquierdo y pilar B derecho:

Ambas trayectorias tienen un comportamiento similar; al inicio presentan un pico de desplazamiento y conforme incrementa el tiempo, la posición se estabiliza.

La diferencia entre desplazamientos máximos es de 1.159 [mm]; en este caso esta magnitud no es significativa.

El resultado de este análisis también se considera aceptable ya que se encuentra dentro de los límites que *Motion Analysis* considera normales.



## Desplazamiento XYZ del motor

### Análisis de vista inferior:

La Figura 25 muestra cómo se analiza la parte inferior del vehículo. La forma del movimiento del motor se debe a la integración que tiene al chasis, pues la rigidez de éste último hace que la frecuencia de vibración en el motor sea considerablemente más alta al resto de los elementos analizados. La tendencia de velocidades es similar al comportamiento general del vehículo, en donde inicia con gran aceleración y al impactarse, se dirige toda la energía a la barrera. La discontinuidad del gráfico en la Figura 26 se debe a que en ese lapso, la parte delantera del vehículo está deformándose y es complicado seguir todos los elementos con la vista proporcionada por las cámaras.

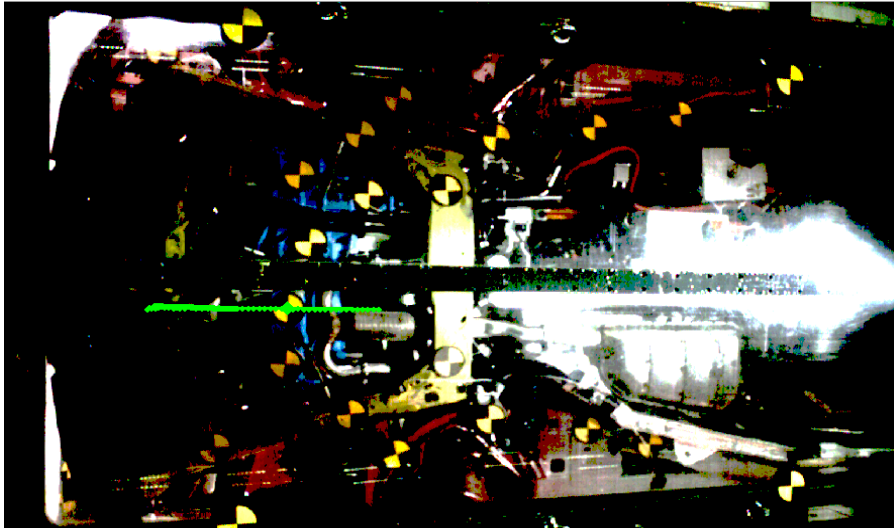


Figura. 25 Análisis 3D en Vista Inferior

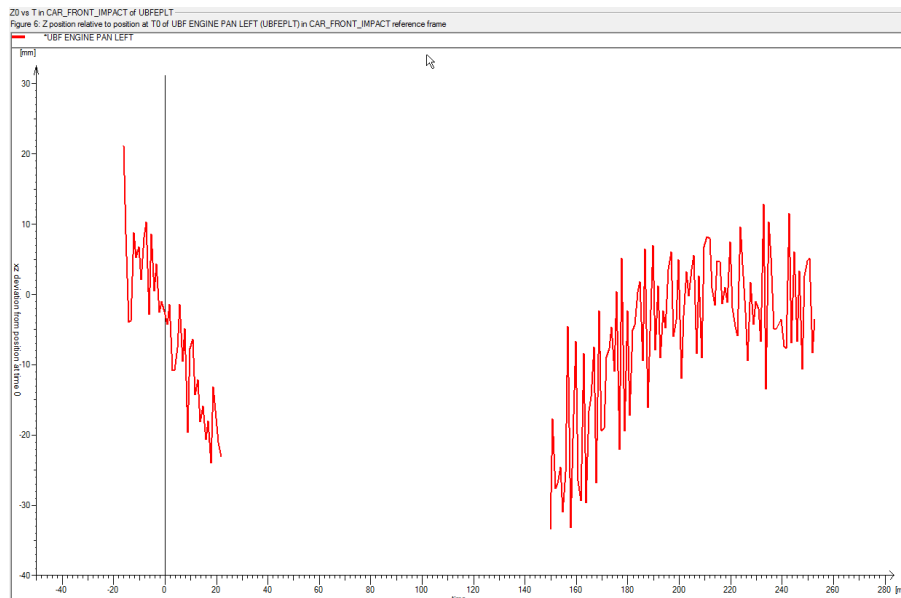


Figura 26. Desplazamiento Absoluto del Motor [mm] vs. Tiempo [ms]

## Desplazamiento de la cabeza de los ATD en el eje longitudinal (X)

Además de analizar componentes del vehículo, también realizo el seguimiento de la cabeza de los ocupantes (maniqués). Esto con el objetivo de verificar si las bolsas de aire y los cinturones de seguridad atenúan el impacto.

### Análisis lado izquierdo (conductor):

La cabeza del maniquí conductor tiene desplazamiento máximo de -509.87 [mm] en el tiempo 101.74 [ms], como lo muestra la Figura 27.

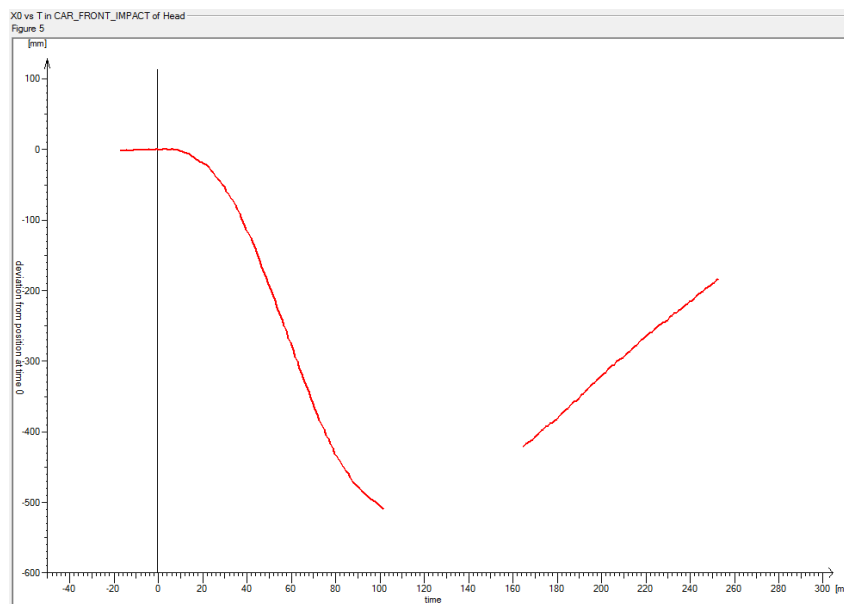


Figura 27. Desplazamiento Absoluto de la Cabeza [mm] vs. Tiempo en Lado Izquierdo [ms]

### Análisis lado derecho (pasajero):

La cabeza del maniquí pasajero tiene desplazamiento máximo de -423.284 [mm] a los 92.74 [ms], mostrado en la Figura 28.

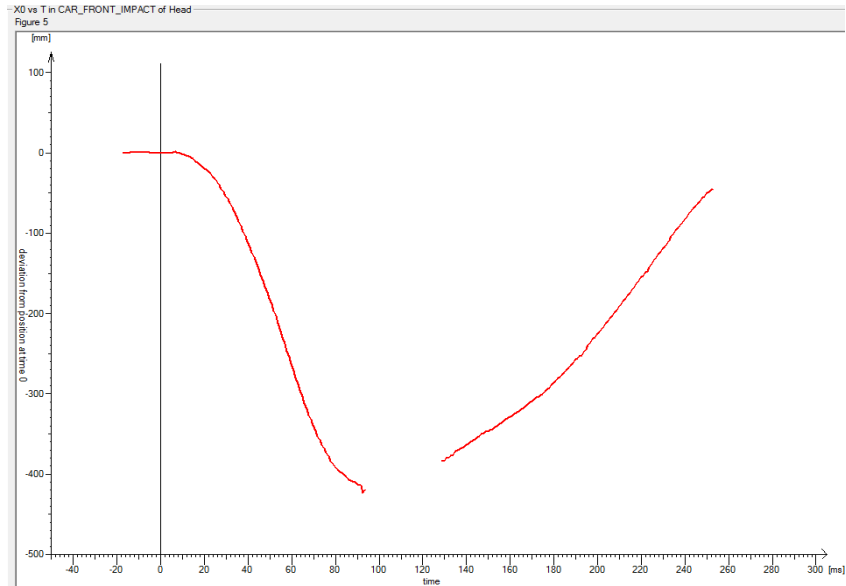


Figura 28. Desplazamiento Absoluto de la Cabeza [mm] vs. Tiempo en lado Derecho [ms]

**Correlación entre cabeza del conductor y la cabeza del pasajero:**

En ambos casos, el movimiento de la cabeza inicia después del momento del impacto (0 milisegundos) debido a que las fuerzas inerciales mantienen al maniquí en su posición inicial los primeros 40 milisegundos. El espacio en blanco en ambas figuras representa el momento en el que la cabeza se introduce en la bolsa de aire, entonces el *target* de interés deja de ser visible, por lo que es imposible monitorearlo.

En los últimos milisegundos del análisis, la cabeza presenta aceleración al retornar hacia su posición inicial.

### 3.5 Simulador de impacto para ATD (maniqués)

Este tipo de pruebas requieren el mismo pre-procesamiento que las pruebas mencionadas anteriormente, es decir, se requieren de selección de cámaras, colocación de targets, definición de mediciones requeridas, etc. Un ejemplo es la prueba de Latiguo (SLED *Whiplash*), esta prueba comúnmente se analiza en 2D, pues la información más relevante se extrae del plano XZ.

En la figura 29a y 29b se muestra en color verde la trayectoria que sigue la cabeza a lo largo del video, además los cambios en el ángulo del respaldo están marcados en rojo.

En este caso, el requerimiento únicamente pedía analizar la velocidad de la cabeza y el ángulo del respaldo. Los *targets* restantes que se visualizan en la imagen, son de utilidad para agregar diferentes planos al cálculo de profundidad y con ello mejorar la precisión.

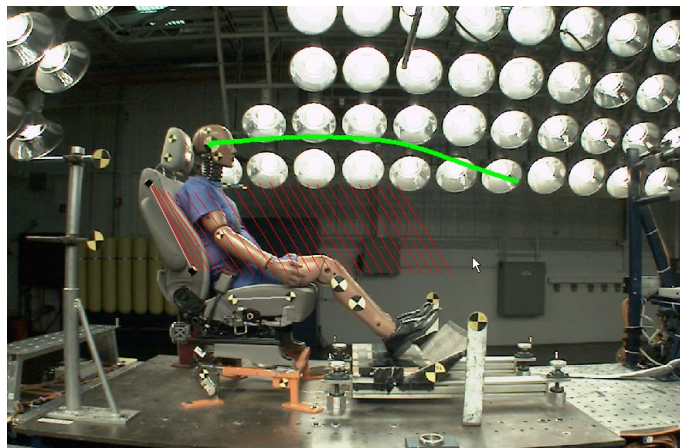


Figura 29a. Prueba *Whiplash* en Tiempo 0[ms]

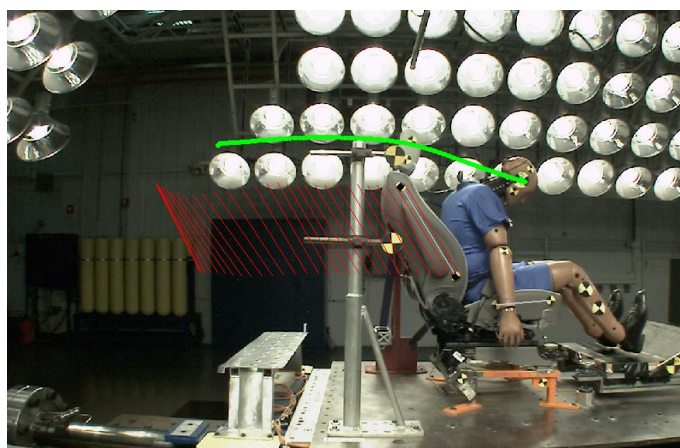


Figura 29b. Prueba *Whiplash* al Final de la Prueba

A continuación presento los resultados finales de este análisis.

### Ángulo del respaldo:

El comportamiento se muestra en la Figura 30, donde el ángulo máximo de  $8.66^\circ$  ocurre en los 95 [ms] después del impacto. Éste es calculado con respecto a la horizontal (eje X). Pasado ese instante, el ángulo comienza a disminuir conforme el tiempo transcurre.

Al final de la prueba, el respaldo no regresó a su posición inicial.

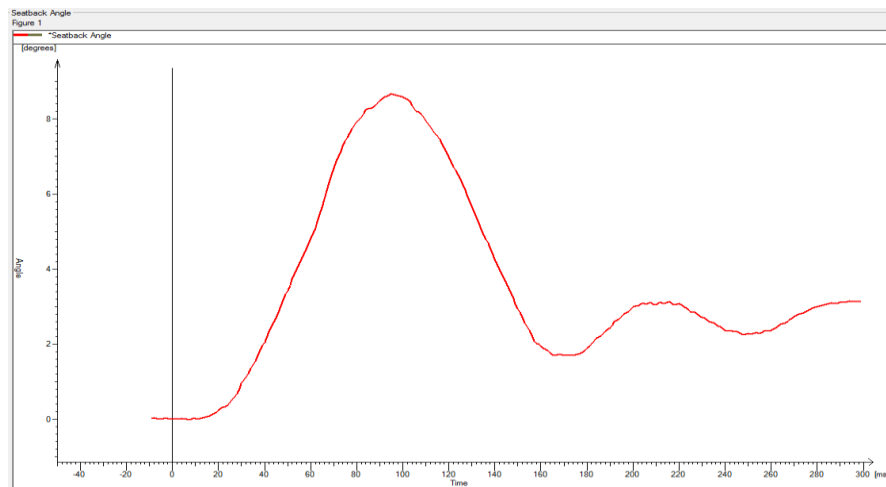


Figura 30. Posición Angular del Respaldo en el Eje X [°] vs. Tiempo [ms]

### Velocidad del SLED:

Esta señal se obtiene para verificar que la prueba fue desarrollada a la velocidad indicada en el protocolo de EuroNCAP.

El pistón que se encarga de mover la plataforma SLED, emite un pulso en los primeros 50 [ms], donde la velocidad es variable y ascendente. La velocidad se estabiliza en 4.40 [m/s], teniendo 0.03 [m/s] de diferencia con lo establecido. En la Figura 31 es posible apreciar al inicio de la prueba el cambio abrupto de velocidad para después volverse constante y con ello cumplir con los parámetros establecidos.

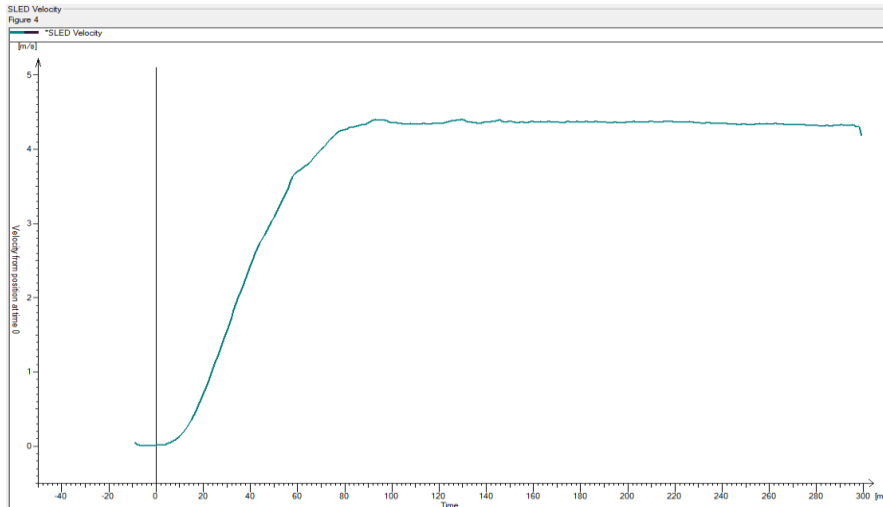


Figura 31. Velocidad de la Plataforma SLED vs. Tiempo

**Velocidad de rebote de la cabeza:**

En la Figura 32 es visible que la posición de la cabeza tiene un comportamiento diferente. Al estar tan alejada de la plataforma y ubicarse en el extremo superior del maniquí, ésta presenta un efecto látigazo, el cual genera un retraso en su posición con respecto a los demás elementos de la prueba. Además, el efecto látigazo eleva la velocidad hasta 4.49 [m/s], que son 0.09 [m/s] más que la plataforma SLED.

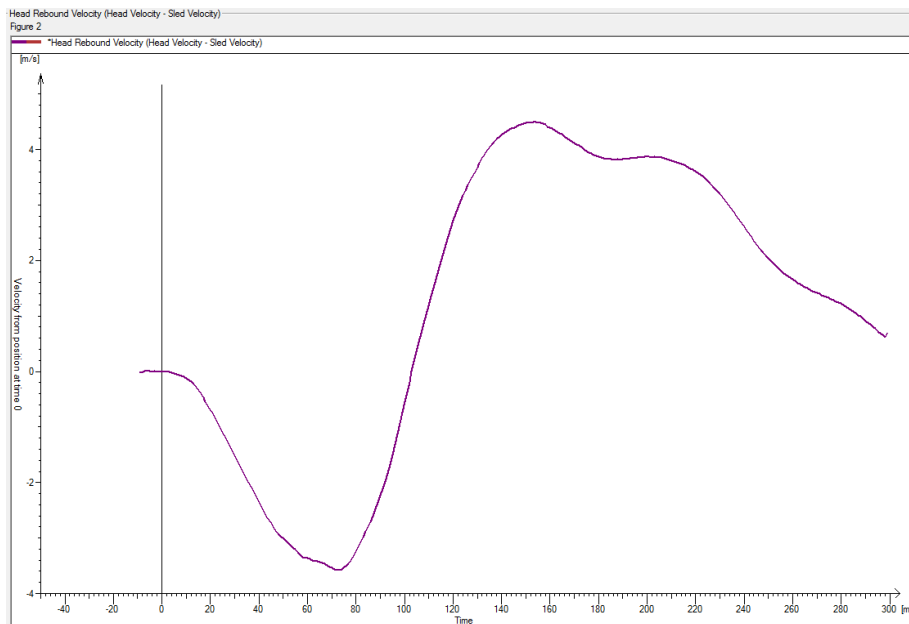


Figura 32. Velocidad de rebote de la cabeza vs. Tiempo

## Conclusiones

La metodología que he seguido dentro de *Motion Analysis* ha dado grandes resultados. Todos los reportes que se entregan al área de safety funcionan como soporte en diferentes situaciones durante el desarrollo de un vehículo. He descubierto a lo largo de estos 6 meses el papel que desempeña cada una de las magnitudes calculadas. Por ejemplo, los desplazamientos son importantes ya que los elementos vehiculares se comportan de manera diferente en cada modelo así como en cada tipo de prueba. Por su parte, las aceleraciones obtenidas por *Motion Analysis* son importantes para robustecer las señales que se extraen de un impacto, ya que éstas se correlacionan con los datos registrados por un acelerómetro. Esto tiene un gran peso para las simulaciones virtuales.

Las velocidades son de gran ayuda ya que los dispositivos que miden en tiempo real son muy propensos a fallar; es ahí cuando el trabajo de *Motion Analysis* es bastante solicitado.

Mis conocimientos van evolucionando conforme me involucro con más tareas de las que soy responsable. He ido descubriendo particularidades de las diferentes pruebas al hacer el análisis de cada una de ellas. Esto es satisfactorio ya que mi capacidad de aprendizaje y deducción hacen que entregue un buen trabajo.

La responsabilidad que tengo es enorme, pues mi área es la única en brindar estos tipos de análisis a todas las regiones en las que se encuentra FCA. También mi trabajo se ve involucrado en pruebas de carácter gubernamental, ya que podemos extender documentos que avalan el cumplimiento de los parámetros tales como desviación lateral y ángulo en el que el vehículo entra a la barrera.

En los últimos meses las normas de IIHS y EuroNCAP han sido actualizadas, esto podría tener efectos en nuestra metodología y por ende, en la precisión de nuestros resultados. Es por ello que he tenido la oportunidad de demostrar mi creatividad e innovación al momento de proponer soluciones

que eviten que *Motion Analysis* se vea afectado por los cambios a las regulaciones.

Además, después de un par de meses dentro del equipo, detecté que algunos de los procesos requieren de ciertas mejoras. Por eso estoy trabajando en la creación de una sesión de análisis en pruebas no destructivas así como en la generación de un manual de uso.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería por haberme formado como una ingeniera capaz de realizar las actividades que mi trabajo demandan. Los conocimientos que obtuve de las materias que tomé a lo largo de mi carrera aportaron algo (por mínimo que sea) a mi formación. Desde las ciencias básicas como geometría analítica y cálculo aportaron a mi concientización sobre el espacio, la lógica de programación y el comportamiento de los diferentes tipos de materiales.

El servicio social fue también una pieza importante para este empleo: trabajé dentro del laboratorio de biomecánica del Centro de Ingeniería Avanzada de la UNAM para el proyecto "SAMM ", el cual consistía en la creación de hardware y software para analizar por medio de una cámara el movimiento de la caderas, rodillas y tobillos de adultos mayores al momento de caminar. Gracias a esto, mi capacidad de adaptar la experiencia de análisis biomecánico en análisis de impacto de vehículos fue corta.

Personalmente, esta etapa me ha brindado muchas cosas. Aprendí la importancia de la inteligencia emocional en el trabajo, principalmente en lo que respecta a la adaptación al entorno de trabajo y a las personas que ahí laboran (jerarquías, protocolos, personalidades, prioridades, etc.). Es, en resumen, aprender sobre las relaciones interpersonales en el mundo laboral.



## Bibliografía

- [1] [http://fcamexico.com.mx/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1&Itemid=103](http://fcamexico.com.mx/site/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=103)
- [2], [7], [8] European New Car Assessment Programme <http://www.euroncap.com/>
- [3], [9], [10] Insurance Institute for Highway Safety <http://www.iihs.org/iihs>
- [4] [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1900-65862015000200010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-65862015000200010)
- [5] Conceptos de fotogrametría Pag 5 y 22  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1098/Tesis.pdf?sequence=1>
- [6] <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte01/fotom.pdf>
- [Video que explica el Set Up de las pruebas:](#) Car Crash Tests Exposed: Not Everyone Gets to Crash Cars Everyday